

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-209160

(43)Date of publication of application : 28.07.2000

(51)Int. Cl.

H04B 10/17

H04B 10/16

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/14

H04B 10/06

H04B 10/04

(21)Application number : 11-008845

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 18.01.1999

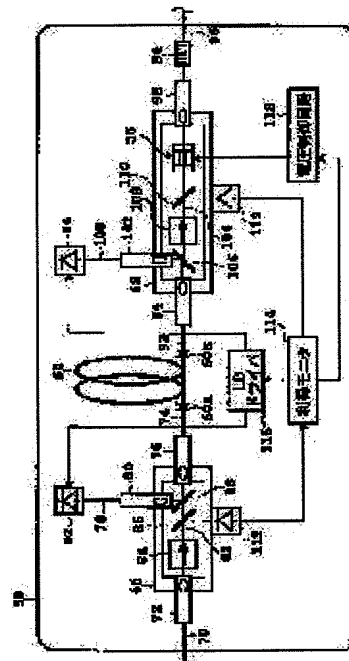
(72)Inventor : NAGANUMA NORIHISA

(54) METHOD FOR GAIN EQUALIZATION AND DEVICE AND SYSTEM USED FOR EXECUTING THE METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the fluctuation of an equalization error accompanying the fluctuation of a system state by providing an optical transmission line for supplying gain to wavelength division multiplex signal light including optical signals provided with a specified wavelength and gain-equalizing the optical transmission line so as to respectively obtain the gain to be changed for a wavelength and the gain not to be changed.

SOLUTION: An optical fiber transmission line to be a part of an optical fiber span, an optical amplification unit provided along the optical fiber transmission line, a passive gain equalizer 54 and an active gain equalizer 56 are provided in respective sections. The passive gain equalizer 54 gain-equalizes the section so as to obtain the gain to be practically monotonously changed for the wavelength. Also, the active gain equalizer 56 gain-equalizes the section so as to obtain the gain not to be practically changed for the wavelength. That is, the wavelength characteristics of the gain to be practically changed are obtained by performing gain equalization by the passive gain equalizer 54 first, then the wavelength characteristics of the gain are gain-equalized by the active gain equalizer 56 and the gain not to be practically changed for the wavelength is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.01.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3585758

[Date of registration]

13.08.2004

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-209160  
(P2000-209160A)

(43) 公開日 平成12年7月28日 (2000.7.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
	10/16		E
H 0 4 J 14/00			S
	14/02		
H 0 4 B 10/14			

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-8845

(22) 出願日 平成11年1月18日 (1999.1.18)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 長沼 典久

北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1

富士通北海道ディジタル・テクノロジー株  
式会社内

(74) 代理人 100075384

弁理士 松本 昂

Fターム(参考) 5K002 AA06 BA02 BA05 CA10 CA13  
DA02 FA01

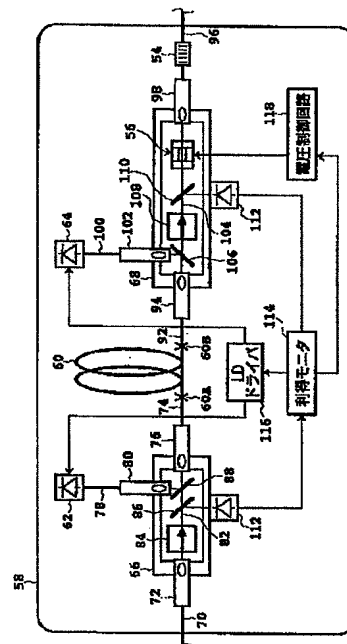
(54) 【発明の名称】 利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステム

## (57) 【要約】

【課題】 本発明は利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステムに関し、システム状態の変動に伴う等化誤差の変動を抑圧することができる利得等化のための簡単な方法を提供することを主な課題としている。

【解決手段】 本発明は利得等化のための方法に関連している。この方法では、まず、WDM (波長分割多重) 信号光に利得を与える光増幅器を含む光伝送路が提供される。次いで、波長に対して実質的に単調に変化する利得が得られるように光伝送路が利得等化される。そして、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように光伝送路が利得等化される。単調に変化する利得の波長特性は簡単な構成を有する能動的利得等化器により容易に利得等化することができる。これにより、光増幅器が単調でない利得の波長特性を有している場合であっても、利得傾斜を容易に平坦にすることができる。

各区間に適用可能な光増幅器の実施形態を示す図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 利得等化のための方法であって、

- (a) 特定波長を有する光信号を含む波長分割多重 (WDM) 信号光に利得を与える光増幅器を含む光伝送路を提供するステップと、
- (b) 波長に対して実質的に単調に変化する利得が得られるように上記光伝送路を利得等化するステップと、
- (c) 波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように上記光伝送路を利得等化するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は、波長に対して周期性をもって変化する損失を上記 WDM 信号光に与える光エレメントを提供するステップと、上記周期性を変化させるステップとを含む方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は上記光エレメントの損失の極小値又は極大値を与える波長に上記特定波長を一致させるステップを更に含む方法。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の方法であって、上記ステップ (b) は利得又は損失の波長特性が一定である受動的利得等化器を提供するステップを含む方法。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は利得又は損失の波長特性が可変である能動的利得等化器を提供するステップを含む方法。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は、利得傾斜を検出するステップと、検出された利得傾斜がフラットになるように上記能動的利得等化器を制御するステップとを含む方法。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の方法であって、上記 WDM 信号光における波長配置は上記周期性にはほぼ対応する方法。

【請求項 8】 特定波長を有する光信号を含む波長分割多重 (WDM) 信号光の光路上に設けられる光エレメントであって波長に対して周期性をもって変化する損失を上記 WDM 信号光に与える光エレメントと、上記周期性が変化するように上記光エレメントに作用する手段とを備え、

上記特性波長が上記光エレメントの損失の極小値又は極大値を与える波長に実質的に一致している装置。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の装置であって、上記 WDM 信号光における波長配置は上記周期性にはほぼ対応する装置。

【請求項 10】 請求項 8 に記載の装置であって、上記光エレメントに光学的に接続され上記 WDM 信号光に利得を与える光増幅器を更に備えた装置。

【請求項 11】 請求項 8 に記載の装置であって、上記光エレメントに光学的に接続され利得又は損失の波長特性が一定である受動的利得等化器を更に備えた装置。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の装置であって、上記受動的利得等化器はファイバグレーティングからなる装置。

【請求項 13】 請求項 8 に記載の装置であって、上記光エレメントはエタロンからなる装置。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の装置であって、上記作用する手段は上記エタロンの上記光路上における長さを変化させるためのピエゾ素子を含む装置。

10 【請求項 15】 請求項 8 に記載の装置であって、上記光路を提供するための一対のファイバコリメータを更に備えた装置。

【請求項 16】 請求項 10 に記載の装置であって、上記光増幅器の利得を検出する利得モニタと、該利得モニタにより検出された利得に基づき上記作用する手段を制御する手段とを更に備えた装置。

【請求項 17】 請求項 10 に記載の装置であって、上記光増幅器の利得傾斜を検出する利得傾斜モニタと、該利得傾斜モニタにより検出された利得傾斜が一定になるように上記作用する手段を制御する手段とを更に備えた装置。

20 【請求項 18】 特定波長を有する光信号を含む波長分割多重 (WDM) 信号光が伝送される光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路にそれぞれ光学的に接続される光増幅器及び能動的利得等化器とを備え、上記能動的利得等化器は、波長に対して周期性をもって変化する損失を上記 WDM 信号光に与える光エレメントと、上記周期性が変化するように上記光エレメントに作用する手段として備えており、

上記特定波長が上記光エレメントの損失の極小値又は極大値を与える波長に実質的に一致しているシステム。

30 【請求項 19】 請求項 18 に記載のシステムであって、上記光ファイバ伝送路に光学的に接続され利得又は損失の波長特性が一定である受動的利得等化器を更に備えたシステム。

【請求項 20】 各々光増幅器を含む複数の区間からなる光ファイバスパンを備えたシステムであって、上記各区間は、利得又は損失の波長特性が一定である受動的利得等化器と、損失の波長特性が可変である能動的利得等化器とを備えており、

上記能動的利得等化器は、波長に対して周期性をもって変化する損失を上記 WDM 信号光に与える光エレメントと、

上記周期性が変化するように上記光エレメントに作用する手段として備えており、

上記特定波長が上記光エレメントの損失の極小値又は極大値を与える波長に実質的に一致しているシステム。

50 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、低損失（例えば0.2 dB/km）な光ファイバの製造技術及び使用技術が確立され、光ファイバを伝送路とする光通信システムが実用化されている。また、光ファイバにおける損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、信号光を増幅するための光増幅器の使用が提案され或いは実用化されている。

【0003】従来知られている光増幅器は、増幅されるべき信号光が供給される光増幅媒体と、光増幅媒体が信号光の波長を含む利得帯域を提供するように光増幅媒体をポンピング（励起）する手段とを備えている。例えば、エルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）は、光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ（EDF）と、予め定められた波長を有するポンプ光をEDFに供給するためのポンプ光源とを備えている。0.98 μm帯或いは1.48 μm帯の波長を有するポンプ光を用いることによって、波長1.55 μm帯を含む利得帯域が得られる。また、半導体チップを光増幅媒体として用いる光増幅器も知られている。この場合、半導体チップに電流を注入することによってポンピングが行われる。

【0004】一方、光ファイバによる伝送容量を増大させるための技術として、波長分割多重（WDM）がある。WDMが適用されるシステムにおいては、異なる波長を有する複数の光キャリアが用いられる。各光キャリアを独立に変調することによって得られた複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受けたWDM信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。従って、WDMを適用することによって、当該多重数に応じて一本の光ファイバにおける伝送容量を増大させることができる。

【0005】WDMが適用されるシステムに光増幅器を組み入れる場合、利得傾斜（ゲインチルト）或いは利得偏差で代表される利得の波長特性によって伝送距離が制限される。例えば、EDFAにおいては、波長1.55 μmの近傍で利得傾斜が生じ、この利得傾斜はEDFAへの信号光のトータル入力パワー及びポンプ光のパワーに従って変化することが知られている。

【0006】光増幅器の利得の波長特性に対する対策として、利得等化法が知られている。これを図1乃至図3により説明する。

【0007】図1は、WDMが適用される従来の光通信システムの例を示すブロック図である。複数の光送信機（OS）2（#1, ..., #N）から出力された波長が異

なる光信号は、光マルチプレクサ4において波長分割多重される。波長分割多重の結果得られたWDM信号光は光伝送路6に送出される。

【0008】光伝送路6は、光ファイバ伝送路7の途中に損失補償用の複数の光増幅器8と1つ以上の利得等化器10を設けて構成されている。各利得等化器10は光フィルタによって提供され得る。

【0009】光伝送路6により送られてきたWDM信号光は、光デマルチプレクサ12によって波長に従って個々の光信号に分離され、光受信機（OR）14（#1, ..., #N）に供給される。

【0010】図2を参照すると、図1のシステムにおいて光マルチプレクサ4から光伝送路6に送出されるWDM信号光のスペクトルの例が示されている。縦軸は光パワー、横軸は波長を表している。ここでは、光送信機2（#1, ..., #N）はそれぞれ波長（λ1, ..., λN）の光信号を出力するものとしている。プリエンファシスを考慮しなければ、一般的には、各チャネルの光信号の光パワーは等しい。この例では、WDM信号光の帯域は、符号16で示されるように、λ1 ~ λNの波長範囲によって定義される。

【0011】図1のシステムにおいて、各光増幅器8がWDM信号光の帯域16において利得の波長特性を有していると、利得傾斜又は利得偏差が光伝送路6の全長に渡って累積し、信号電力或いは信号対雑音比（光SNR）のチャネル間偏差が生じてしまう。例えば、各光増幅器8が図3の（A）に示されるような利得の波長特性を有しているとする、これが累積する結果、図3の（B）に示されるように総利得の波長特性が顕著になる。

【0012】利得等化法では、各利得等化器10の損失の波長特性を、多段接続された光増幅器8の総利得の波長特性が相殺されるように設定する。

【0013】これを図4により具体的に説明する。図4において、符号18で示される破線は、多段接続された光増幅器8の総利得の波長特性であり、符号20で示される実線は、利得等化器10における損失の波長特性を示している。図示された例では、WDM信号光の帯域16において、総利得の波長特性が損失の波長特性によって相殺されており、これにより光伝送路6の全体における利得等化がなされている。

【0014】各光増幅器8としてEDFAが用いられる場合、その利得の波長特性は、一般的には、波長軸に対して非対称形である。これに対して、各利得等化器10の構成要素（エレメント）として用いられ得る1つの光フィルタの損失の波長特性は対称形である。従って、各利得等化器10が1つの光フィルタだけを含む場合には、累積した光増幅器8の非対称な利得の波長特性を補償することは不可能である。光フィルタとしては、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ及びマッハツェン

ダフィルタ等が知られており、これらは精度良く作製することができ且つ信頼性が保証されている。

【0015】尚、関連する従来技術として、光増幅器の非対称な利得の波長特性を補償するために、損失の波長特性が異なる2つ以上の光フィルタを組み合わせる利得等化器を構成することが提案されている。これにより、与えられたWDM信号光の帯域において利得の波長特性が高精度に損失の波長特性によって相殺される。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】光増幅器の利得の波長特性は、光増幅器のポンピング状態や信号光の入力パワー等の動作条件によって変化する。例えば、海底光増幅中継システムでは、経時劣化による光ファイバ損失の増加や修理のためのケーブル割り入れ等により、光増幅器への入力パワーが変化する場合がある。このようにシステム状態が変化した場合には、光増幅器の動作条件が変化するため、利得の波長特性も変化する事となる。また、光増幅器の製造ばらつきにより、利得の波長特性が設計値からずれることもある。

【0017】従来のように、損失の波長特性が固定されている光フィルタを用いた利得等化法では、システム状態が変わり、光増幅器の利得の波長特性が例えば図5に示されるように符号18で示される特性から符号18'で示される特性に変化した場合に、光増幅器の利得の波長特性と光フィルタの損失の波長特性が一致しなくなるため、等化誤差が生じる。この等化誤差はシステム状態によって変動し、その量が大きくなると、信号電力或いは光SNRのチャンネル間偏差が生じ、あるチャンネルではその伝送品質が著しく損なわれることになる。

【0018】このような点に鑑み、損失の波長特性が可変である可変利得等化器を用いる方法が提案されている。

【0019】図6は従来の可変利得等化器の例を示すブロック図である。入力ポート22と出力ポート24との間には光サーキュレータ26が設けられており、光サーキュレータ26にはAWG（アレイドウェーブガイド）素子28の第1のポート30が接続されている。AWG素子28の複数の第2のポート32の各々には、光カプラ34、可変光減衰器36及び全反射器38がこの順で接続されている。全反射器38における反射光のパワーは光カプラ34に接続されたフォトディテクタ40により検出され、その検出出力が一定になるように可変光減衰器36が制御される。

【0020】AWG素子28の第1のポート30と各第2のポート32とは特定の波長により結合されているので、図6に示される構成によって、平坦な波長特性が得られる。

【0021】しかし、図6に示される従来の可変利得等化器は、光サーキュレータ26及びAWG素子28をはじめとしてはじめとして高価な光デバイスが必要にな

り、しかも、可変光減衰器36を含むフィードバックループは複数組（例えば32組）必要になるので、構成が複雑であると共に高コスト化するという問題がある。

【0022】よって、本発明の目的は、システム状態の変動に伴う等化誤差の変動を抑圧することができる利得等化のための簡単な方法を提供することにある。

【0023】本発明の他の目的は、損失の波長特性が可変で簡単な構成を有する新規な装置（利得等化器）を提供することにある。

【0024】本発明の更に他の目的は、上記方法の実施に使用する或いは上記装置を備えたシステムを提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、利得等化のための方法が提供される。まず、特定波長を有する光信号を含む波長分割多重（WDM）信号光に利得を与える光増幅器を含む光伝送路が提供される（ステップ（a））。次いで、波長に対して実質的に単調に変化する利得が得られるように光伝送路が利得等化される（ステップ（b））。そして、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように光伝送路が利得等化される（ステップ（c））。ステップ（b）及びステップ（c）の実施の順序は任意である。

【0026】この方法によると、例えば、ステップ（b）の後にステップ（c）を実施することによって、実質的に単調に変化する利得について簡単に利得等化を行うことができるので、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を容易に抑圧することができる。

【0027】本発明の第2の側面によると、特定波長を有する光信号を含む波長分割多重（WDM）信号光の光路上に設けられる光エレメントであって波長に対して周期性をもって変化する損失をWDM信号光に与える光エレメントと、この周期性が変化するように光エレメントに作用する手段とを備えた装置が提供される。特定波長は、例えば、光エレメントの損失の極小値又は極大値を与える波長に実質的に一致している。この装置は、波長に対して実質的に単調に変化する利得について利得等化を行うのに適しているので、本発明の第1の側面に従う方法に使用することができる。

【0028】本発明の第3の側面によると、特定波長を有する光信号を含む波長分割多重（WDM）信号光が伝送される光ファイバ伝送路と、光ファイバ伝送路にそれぞれ光学的に接続される光増幅器及び能動的利得等化器とを備えたシステムが提供される。能動的利得等化器は、本発明の第2の側面に従う装置によって提供され得る。

【0029】本発明の第4の側面によると、各々光増幅器を含む複数の区間からなる光ファイバスパンを備えたシステムが提供される。各区間は、利得又は損失の波長特性が一定である受動的利得等化器と、損失の波長特性

10

20

30

40

50

が可変である能動的利得等化器とを備えている。能動的利得等化器は、本発明の第2の側面に従う装置によって提供され得る。

#### 【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。

【0031】図7は本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、光送信装置42と、光受信装置44と、装置42及び44間に敷設される光ファイバスパン46とを備えている。光ファイバスパン46は、カスケード接続された複数の区間48を含む。

【0032】光送信装置42は、異なる波長を有する光信号を出力する複数の光送信機2（#1，…，#N）と、これらの光信号を波長分割多重した結果得られる波長分割多重信号光（WDM信号光）を出力する光マルチプレクサ4とを備えている。得られたWDM信号光は光ファイバスパン46へ供給される。

【0033】光受信装置44は、光ファイバスパン46からのWDM信号光を波長に従って分離して個々のチャネルの光信号を得るための光デマルチプレクサ12と、これらの光信号を受けるための複数の光受信機14（#1，…，#N）とを備えている。

【0034】図8は図7に示される各区間48の実施形態を示す図である。各区間48は、光ファイバスパン46（図7参照）の一部となる光ファイバ伝送路50と、光ファイバ伝送路50に沿って設けられる光増幅ユニット52、受動的利得等化器54及び能動的利得等化器56とを備えている。受動的利得等化器54の利得又は損失の波長特性は一定であり、能動的利得等化器56の利得又は損失の波長特性は可変である。光増幅ユニット52、受動的利得等化器54及び能動的利得等化器56の配列順序は任意である。受動的利得等化器54又は能動的利得等化器56として光増幅器を用いることもできる。例えば、EDFAのポンピングパワーを変化させることにより利得の波長特性を可変にすることができる。

【0035】受動的利得等化器54は、波長に対して実質的に単調に変化する利得が得られるように当該区間48を利得等化する。また、能動的利得等化器56は、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように当該区間48を利得等化する。

【0036】光増幅ユニット52としてはエルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）を用いることができる。受動的利得等化器54としては、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ、マッハツェンダフィルタ、ファイバグレーティングフィルタ或いはこれらの組み合わせを用いることができる。能動的利得等化器56の具体的構成については後述する。

【0037】図9は図7に示される各区間48に適用可能な光増幅器の実施形態を示す図である。この光増幅器

は、ハウジング58内に設けられる光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ（EDF）60と、EDF60がWDM信号光に利得を与えるようにEDF60をポンピング（励起）するためのポンピング源としてのレーザダイオード62及び64とを有している。EDF60及びレーザダイオード62及び64は図8に示される光増幅ユニット52の一部を構成している。また、EDF60において生じる利得の波長特性を平坦化するために、受動的利得等化器54及び能動的利得等化器56が用いられている。

【0038】ハウジング58内にはまた前段光モジュール66及び後段光モジュール68が設けられている。入力光ファイバ60は、ファイバコリメータ72により前段光モジュール66に接続され、EDF60の第1端60Aはインターフェイスファイバ74及びファイバコリメータ76により前段光モジュール66に接続され、レーザダイオード62は光ファイバ78及びファイバコリメータ80により前段光モジュールに接続されている。前段光モジュール66内には、ファイバコリメータ72及び76によって、WDM信号光のための光路82がコリメートビームとして提供されている。光路82上には、光アイソレータ84、ビームスプリッタ86及びWDMカプラ88がファイバコリメータ72の側からこの順に設けられている。ビームスプリッタ86で分岐された入力モニタビームはフォトディテクタ90に供給される。ファイバコリメータ80はWDMカプラ88に関する反射光路によってファイバコリメータ76に結合されている。

【0039】EDF60の第2端60Bは、インターフェイスファイバ92及びファイバコリメータ94により後段光モジュール68に接続され、出力光ファイバ96はファイバコリメータ98により後段光モジュール68に接続され、レーザダイオード64は光ファイバ100及びファイバコリメータ102により後段光モジュール68に接続されている。受動的利得等化器54は出力光ファイバ96の途中に設けられている。

【0040】ファイバコリメータ94及び98によって後段光モジュール68内にはWDM信号光のための光路104がコリメートビームとして提供されている。光路104上には、WDMカプラ106、光アイソレータ108、ビームスプリッタ110及び能動的利得等化器56がファイバコリメータ94の側からこの順に設けられている。

【0041】ファイバコリメータ102はWDMカプラ106についての反射光路によってファイバコリメータ94に結合されている。ビームスプリッタ110で分岐された出力モニタビームはフォトディテクタ112に供給される。

【0042】フォトディテクタ90及び112の出力信号は利得モニタ114に入力される。利得モニタ114

は、フォトディテクタ90及び112の出力信号の差又は比に基づきEDF60で生じる利得を検出し、検出された利得が例えば一定になるようにEDF60のポンピングエネルギーを制御する。具体的には、レーザダイオード62及び64にはLDドライバ116から駆動電流が供給されており、利得モニタ114はこれらの駆動電流を調節する。

【0043】利得モニタ114には電圧制御回路118が接続されており、制御回路118は能動的利得等化器56における損失の波長特性を制御する。この制御の具体的な態様については後述する。

【0044】レーザダイオード62から出力されたフォワードポンピング用のポンプ光は、WDMカプラ88及びインターフェイスファイバ74を介してEDF60にその第1端60Aから供給される。レーザダイオード64から出力されたバックワードポンピング用のポンプ光は、WDMカプラ106及びインターフェイスファイバ92を介してEDF60にその第2端60Bから供給される。

【0045】増幅されるべきWDM信号光は、入力ファイバ70及びインターフェイスファイバ74を通過してEDF60にその第1端60Aから供給される。フォワードポンピング及びバックワードポンピングが行われているEDF60にWDM信号光が供給されると、誘導放出の原理に従ってWDM信号光は増幅され、増幅されたWDM信号光は、後段光モジュール68を介して出力ファイバ96へ供給される。

【0046】図10はEDFにおける利得の波長特性の変化を示すグラフである。縦軸は利得(dB)、横軸は波長(nm)を表している。ポンピングエネルギーが異なる6つの状態について利得の波長特性が示されている。いずれの状態においても、1530nm付近に利得の極大値が生じており、1540乃至1560nmでは単調な特性が得られている。また、ポンピングエネルギーが比較的小さい場合には、単調な領域において利得傾斜は正であり、ポンピングエネルギーが比較的大きい場合には、同領域において利得傾斜は負になる。

【0047】図9に示される光増幅器では、図10に示されるように、1530nm付近を含めると事実上単調でない利得の波長特性を、まず受動的利得等化器54により利得等化することによって実質的に単調に変化する利得の波長特性が得られるようにし、その利得の波長特性を能動的利得等化器56によって利得等化して、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるようにしている。つまり、受動的利得等化器54及び能動的等化器56を組み合わせることによって、比較的単純な特性を有する能動的利得等化器56によって利得の波長特性を容易に平坦化することができるのである。また、図10に示される各ポンピング状態の特性は類似した形状を有しているため、ポンピング状態の変化に伴う利得の波長

特性の変化を能動的利得等化器56により容易に補償することができる。

【0048】図11を参照すると、能動的利得等化器56の構成例が示されている。ここでは、能動的利得等化器56は、WDM信号光に関する光路104が貫通するように設けられる一対のガラス平板120及び122からなる光エレメント124と、ガラス平板120及び122間の間隔を変化させるための円筒形のピエゾ素子126とを備えている。ガラス平板120及び122の互いに対向する面の各々には例えば反射率が概ね50%の高反射膜HRが形成されており、ガラス平板120及び122の外側の面の各々には反射防止膜ARが形成されている。従って、高反射膜HR間での多重反射によりこの光エレメント124はエタロンとして機能し、光エレメント124は、波長に対して周期性をもって変化する損失をWDM信号光に与える。また、ピエゾ素子126によってガラス平板120及び122間の間隔が変化させられることによって、その周期性が変化する。

【0049】尚、対象としている波長の範囲が比較的狭いことを考慮すると、「波長に対して周期性をもって変化する」というときの「波長」という語は「周波数」で置換することができる。従って、この明細書においては、「波長」という語は「周波数」という語で置換されてもよい。

【0050】図12は図11に示される能動的利得等化器56の動作原理の説明図である。縦軸は損失(dB)、横軸は波長(nm)を表している。

【0051】今、ピエゾ素子126(図11参照)の印加電圧が0であるときに、実線で示されるように、波長に対して周期性をもって変化する損失が光エレメント124において生じているとする。また、WDM信号光における第1チャンネル(ch1)乃至第8チャンネル(ch8)の波長配置が上記周期性に正確に対応しているものとする。この場合、特定チャンネル(例えば第1チャンネル)の波長が光エレメント124の損失の極小値(又は極大値)を与える波長の1つに実質的に一致しているとすると、他のチャンネルの波長も損失の極小値(又は極大値)を与える他の波長に一致するので、損失の波長特性は波長に対して平坦になる。

【0052】ここで、ピエゾ素子126を駆動してガラス平板120及び122間の間隔を小さくすると、光エレメント124によって提供されているエタロンのFSR(フリースペクトラルレンジ)が大きくなるので、損失の波長特性は図12に破線で示されるようになる。その結果、長波長になるに従って損失が単調に増加するような損失の波長特性がWDM信号光に与えられることとなり、その損失の波長特性はピエゾ素子126への印加電圧により任意に設定することができる。ここでは、FSRが大きくなる場合について説明したがFSRが小さくなるようにガラス平板120及び122間の間隔を大



きくした場合にも同じようにして損失の波長特性を変化させることができる。

【0053】図13の(A)～(D)は図11に示される能動的利得等化器56の損失の波長特性を変化させた例を示す図である。いずれにおいても、能動的利得等化器56を通過するWDM信号光に与えられる損失の波長特性が示されている。ピエゾ素子126の印加電圧を変化させてガラス平板120及び122間の間隔を変化させることによって、比較的単調な損失の波長特性の傾斜を変化させることができることがわかる。

【0054】従って、図9に示される光増幅器では、受動的利得等化器54により波長に対して実質的に単調に変化する利得が得られるように利得等化を行い、その単調な利得の波長特性が波長に対して平坦になるように能動的利得等化器56により利得等化を行うことによって、システム状態の変動に伴う等化誤差の変動を容易に抑圧することができる。

【0055】また、図11に示される実施形態によると、損失の波長特性が可変で簡単な構成の利得等化のための装置の提供が可能になる。

【0056】図9に示される受動的利得等化器54としてファイバグレーティングを用いた場合、ファイバグレーティングの製造技術によって、EDFにおける利得の波長特性を打ち消すための損失の波長特性を比較的自由に設計し得る。

【0057】図9に示される光増幅器では、EDF60においてある特定の利得、例えばレーザダイオード62及び64によるポンピングにより得られる最大利得で利得の波長特性が平坦化されるように、受動的利得等化器54の損失の波長特性が設定される。システムに要求される特性に応じて、利得モニタ114は、要求される利得(前述の最大利得とは限らない)が一定に保たれるようにレーザダイオード62及び64の駆動電流を制御する。この一定に制御されている利得が初期設定値(最大利得)と異なる場合、図10により説明した通り利得の波長特性は変化する。この利得の波長特性の変化を補償するために、利得モニタ114の出力信号に基づき電圧制御回路118が能動的利得等化器56のピエゾ素子126(図11参照)の印加電圧を制御する。これにより、システム状態の変動に伴う等化誤差の変動が簡単に抑圧される。

【0058】波長に対して周期性をもって変化する損失をWDM信号光に与えるための光エレメントとして、図11に示されるように一対のガラス平板120及び122を有するものについて説明したが、1枚のガラス平板の両面に高反射膜を設けてなる光エレメントを用いることもできる。この場合、そのガラス平板の温度をヒータ或いはペルチェ素子により変化させることによって屈折率又は厚みを変化させ、それによりFSRを変化させるようにしてもよい。

【0059】また、図11に示されるピエゾ素子126に代えて線熱膨張係数が比較的大きい材質からなるブロックを設け、そのブロックの温度をヒータ或いはペルチェ素子により変化させることによってガラス平板120及び122間の間隔を変化させ、それによりFSRを変化させるようにしてもよい。

【0060】図9に示される光増幅器では、2つのレーザダイオード62及び64を用いた双方向ポンピングが例示されているが、レーザダイオード62及び64の一方を省略して、フォワードポンピング或いはバックワードポンピングを行うようにしてもよい。

【0061】また、受動的利得等化器54は出力ファイバ96の途中に設けられているが、後段光モジュール68内における能動的利得等化器56の上流側又は下流側に設けられる受動的利得等化器を採用してもよい。

【0062】図14は能動的利得等化器の他の構成例を示す図である。光路104(図9参照)に沿って改変された能動的利得等化器56'が設けられている。能動的利得等化器56'は、図11に示されるピエゾ素子120に代えて、線熱膨張係数が比較的大きい材質からなる円筒形部材130が用いられている。円筒形部材130の温度がペルチェ素子132により変化させられることにより、光エレメント124のガラス平板120及び122間の間隔が変化させられ、それによりエタロンのFSRが変化して、損失の波長特性における周期性が変化する。ペルチェ素子132は、可変電流源134から駆動電流が与えられており、その駆動電流に応じてペルチェ素子132が熱の吸収又は放出を行うことによって、円筒形部材130の温度が変化させられる。

【0063】光路104における能動的利得等化器56'の下流側にはビームスプリッタ136が設けられている。ビームスプリッタ136で分岐されたモニタビームは利得又は利得傾斜を検出するモニタ138に供給される。

【0064】モニタ138は、供給されたモニタビームを実質的に1:1のパワー比で第1及び第2のモニタビームに分岐するための光カプラ142と、第1及び第2のモニタビームをそれぞれ受けるための光帯域通過フィルタ144及び146と、フィルタ144及び146を透過したビームをそれぞれ受けるフォトディテクタ148及び150と、フォトディテクタ148及び150の出力信号に基づき利得又は利得傾斜を算出する演算回路152とを含んでいる。演算回路152の出力信号に基づき制御回路140が可変電流源134を制御し、それにより、例えばモニタ138により検出された利得又は利得傾斜が一定になるようにペルチェ素子132の駆動電流が制御される。

【0065】光帯域通過フィルタ144は、例えば、WDM信号光における最短波長側のチャネルの光信号の波長を含む通過帯域を有しており、光帯域通過フィルタ1



46は、例えば、WDM信号光における最長波長側のチャネルの光信号の波長を含む通過帯域を有している。この場合、フォトディテクタ148及び150の出力信号レベルが一定になるような制御を行うことによって、WDM信号光における利得傾斜が一定（平坦）に保たれる。

【0066】図15及び図16は能動的利得等化器の設計例を説明するための図である。図15は、入射角を7.4度、反射面反射率を50%、基板屈折率を1.466とし、反射面間隔（ $d \mu m$ ）を517.41乃至517.45  $\mu m$ に変化したときの損失の波長特性を示している。約0.5mmの厚みのエタロン板の厚み制御を約40nmの範囲で行うことによって、短波長領域において3dB程度の損失の変化を制御することができることがわかる。

【0067】図16は、入射角を1.0度、反射面反射率を50%、基板屈折率を1.466とし、反射面間隔（ $d \mu m$ ）を517.600乃至517.867  $\mu m$ に変化したときの損失の波長特性を示している。約0.5mmの厚みのエタロン板の厚み制御を約270nmの範囲で行うことによって、全波長域で10dB程度の損失の変化の制御を行うことができることがわかる。

【0068】図17の（A）及び（B）～図22の（A）及び（B）は図15の特性を得るための計算例を示す図、図23の（A）及び（B）～図25の（A）及び（B）は図16の特性を得るための計算例を示す図である。

【0069】各計算において、WDM信号光のチャネル数は25であるとし、それらの波長（単位はnm）は、1520.50, 1522.02, 1523.56, 1525.08, 1526.62, 1528.16, 1529.70, 1531.24, 1532.78, 1534.34, 1535.88, 1537.44, 1539.00, 1540.56, 1542.14, 1543.70, 1545.28, 1546.84, 1548.42, 1550.00, 1551.60, 1553.18, 1554.78, 1556.36, 及び1557.96である。

【0070】図17の（A）及び（B）では、 $d=517.41$ 、図18の（A）及び（B）では $d=517.42$ 、図19の（A）及び（B）では $d=517.43$ 、図20の（A）及び（B）では $d=517.44$ 、図21の（A）及び（B）では $d=517.45$ 、図22の（A）及び（B）では $d=517.455$ である。

【0071】また、図23の（A）及び（B）では $d=517.867$ 、図24の（A）及び（B）では $d=517.70$ 、図25の（A）及び（B）では $d=517.60$ である。

【0072】以上の説明では、利得等化器は損失を与えるものとして例示したが、利得を与える光増幅器を利得等化器として用いることもできる。光増幅器の利得特性は一定でありあるいはポンピング条件に応じて可変であるので、光増幅器を受動的利得等化器あるいは能動的利得等化器として用いることができる。

【0073】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、システム状態の変動に伴う等化誤差の変動を抑圧することができる利得等化のための簡単な方法の提供が可能になるという効果が生じる。

【0074】また、本発明によると、損失特性が可変で簡単な構成を有する新規な装置の提供が可能になるという効果が生じる。

【0075】更に、本発明によると、そのような方法の実施に使用することができ或いはそのような装置を備えた新規なシステムの提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1はWDM（波長分割多重）が適用される光通信システムの従来例を示すブロック図である。

【図2】図2は図1のシステムにおけるWDM信号光のスペクトルの例を示す図である。

【図3】図3の（A）及び（B）は光増幅器の利得の波長特性の累積を説明するための図である。

【図4】図4は従来の利得等化法の説明図である。

【図5】図5は従来の利得等化法の問題点の説明図である。

【図6】図6は従来の可変利得等化器の例を示す図である。

【図7】図7は本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図である。

【図8】図8は図7に示される各区間の実施形態を示す図である。

【図9】図9は各区間に適用可能な光増幅器の実施形態を示す図である。

【図10】図10はEDF（エルビウムドープファイバ）における利得の波長特性の変化を示すグラフである。

【図11】図11は能動的利得等化器の構成例を示す図である。

【図12】図12は能動的利得等化器の動作原理の説明図である。

【図13】図13の（A）～（D）は能動的利得等化器の損失の波長特性を変化させた例を示す図である。

【図14】図14は能動的利得等化器の他の構成例を示す図である。

【図15】図15は能動的利得等化器の設計例を説明するための図である。

【図16】図16は能動的利得等化器の他の設計例を説明するための図である。

【図17】図17の（A）及び（B）は図15の特性を得るための計算例を示す図（その1）である。

【図18】図18の（A）及び（B）は図15の特性を得るための計算例を示す図（その2）である。

【図19】図19の（A）及び（B）は図15の特性を得るための計算例を示す図（その3）である。

【図20】図20の(A)及び(B)は図15の特性を得るための計算例を示す図(その4)である。

【図21】図21の(A)及び(B)は図15の特性を得るための計算例を示す図(その5)である。

【図22】図22の(A)及び(B)は図15の特性を得るための計算例を示す図(その6)である。

【図23】図23の(A)及び(B)は図16の特性を得るための計算例を示す図(その1)である。

【図24】図24の(A)及び(B)は図16の特性を得るための計算例を示す図(その2)である。

【図25】図25の(A)及び(B)は図16の特性を得るための計算例を示す図(その3)である。

【符号の説明】

52 光増幅ユニット

\* 54 受動的利得等化器

56 能動的利得等化器

60 エルビウムドープファイバ(EDF)

62, 64 レーザダイオード

66 前段光モジュール

68 後段光モジュール

114 利得モニタ

116 LDドライバ

118 電圧制御回路

10 54 受動的利得等化器

56 能動的利得等化器

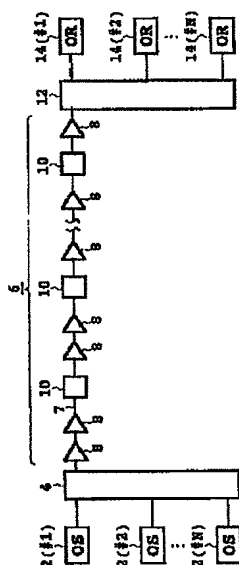
120, 122 ガラス平板

124 光エレメント

\* 126 ピエゾ素子

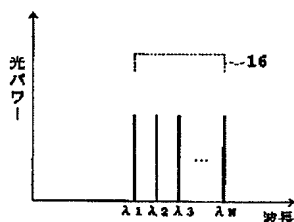
【図1】

WDMが適用される光通信システムの例を示すブロック図(従来技術)



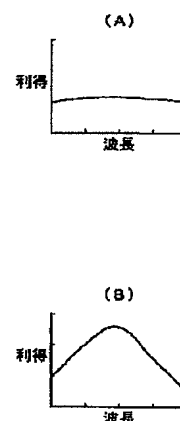
【図2】

図1のシステムにおけるWDM信号光のスペクトルの例を示す図(従来技術)



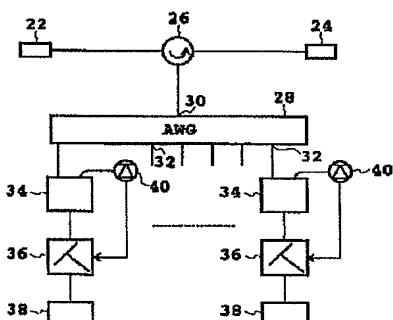
【図3】

光増幅器の利得の波長特性の累積を説明するための図



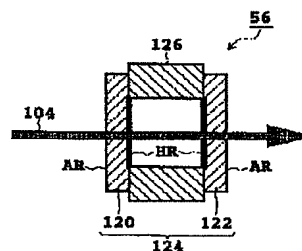
【図6】

従来の可変利得等化器の例を示すブロック図



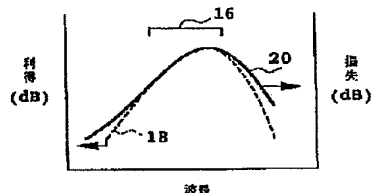
【図11】

能動的利得等化器の構成例を示す図



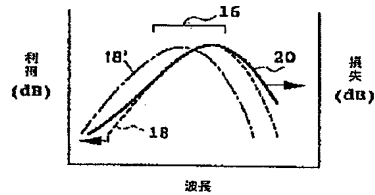
【図4】

利得等化法の説明図(従来技術)



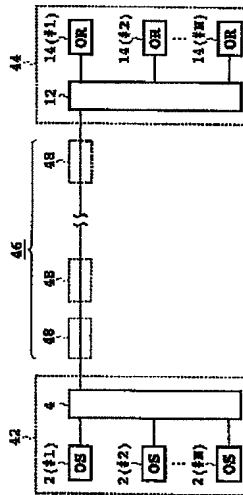
【図5】

従来の利得等化法の問題点の説明図



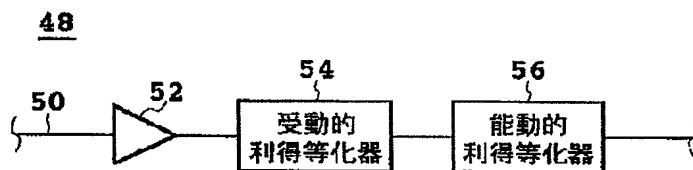
【図7】

本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図



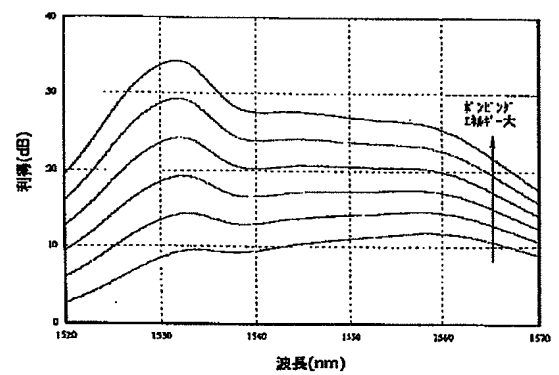
【図8】

各区間の実施形態を示す図



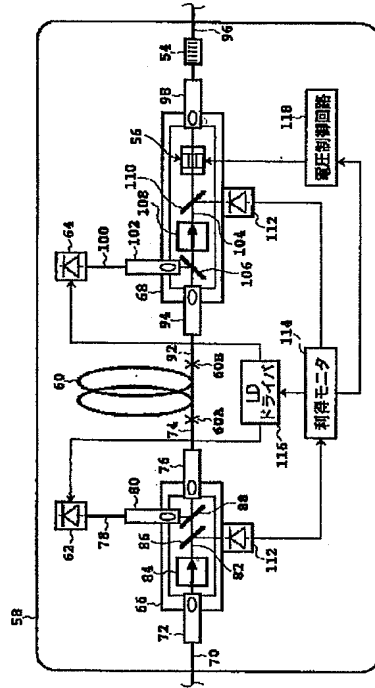
【図10】

EDFにおける利得の波長特性の変化を示すグラフ



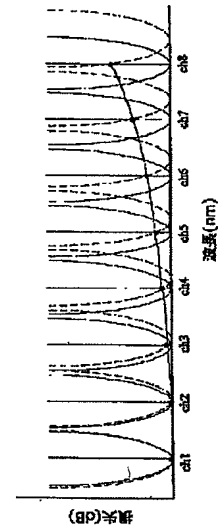
【図9】

各区間に適用可能な光増幅器の実施形態を示す図

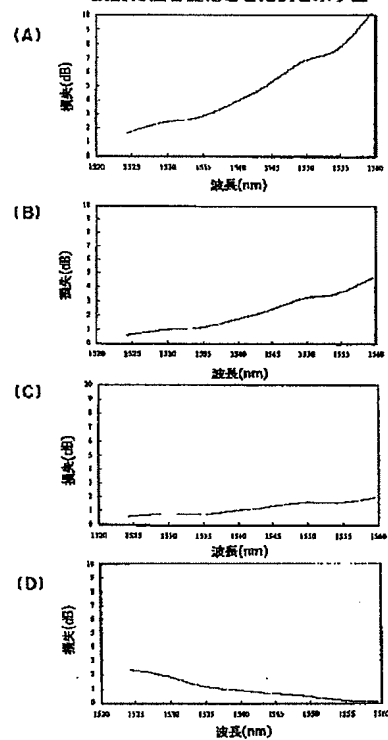


【図12】

能動的利得等化器の動作原理の説明図

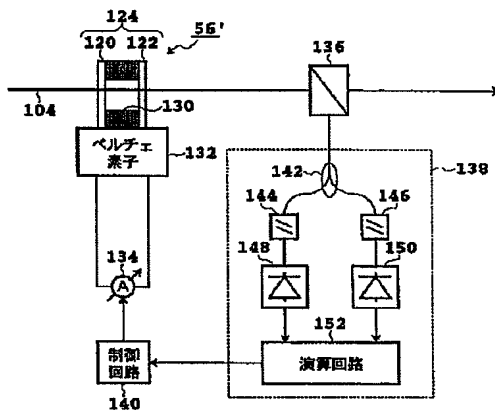


【図13】

能動的利得等化器の損失の  
波長特性を変化させた例を示す図

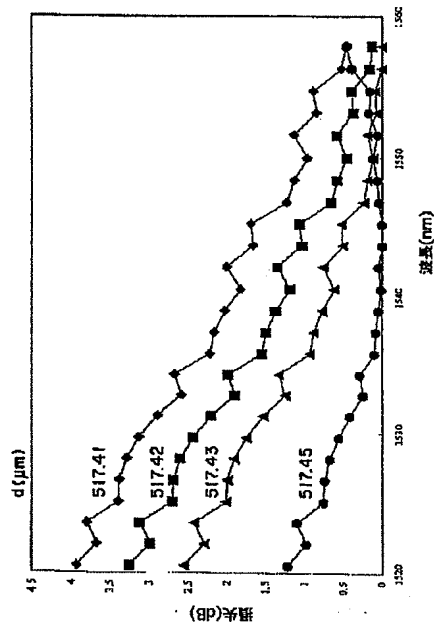
【図14】

能動的利得等化器の他の構成例を示す図



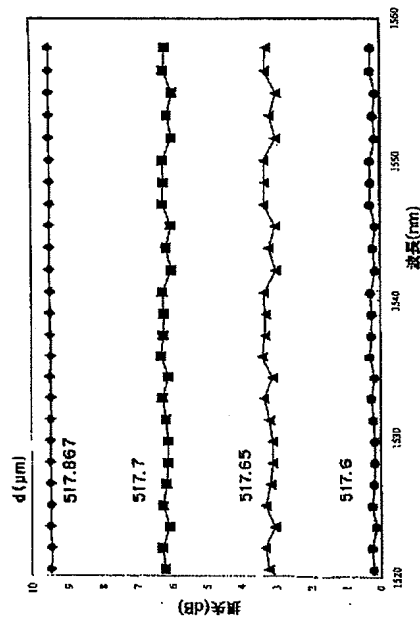
【図15】

能動的利得等化器の設計例を説明するための図

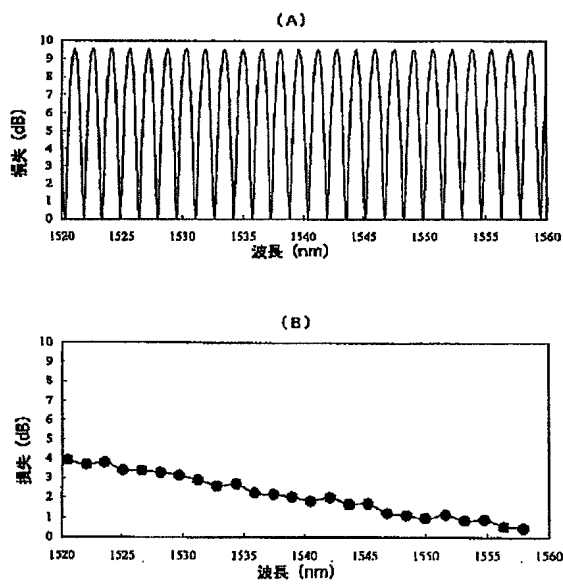


【図16】

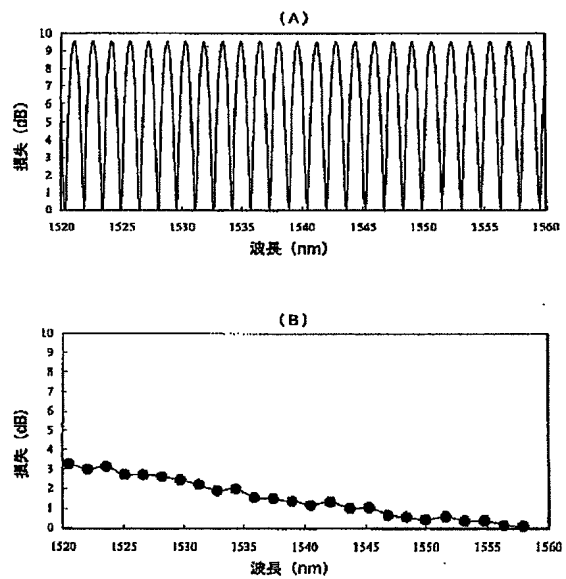
能動的利得等化器の他の設計例を説明するための図



【図17】

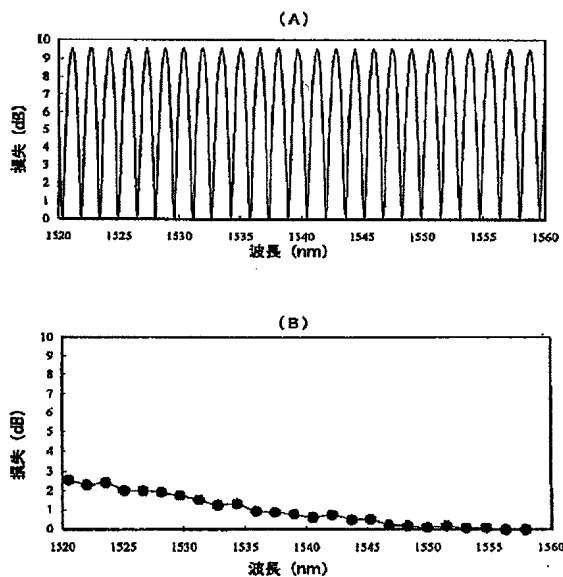
図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その1)

【図18】

図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その2)

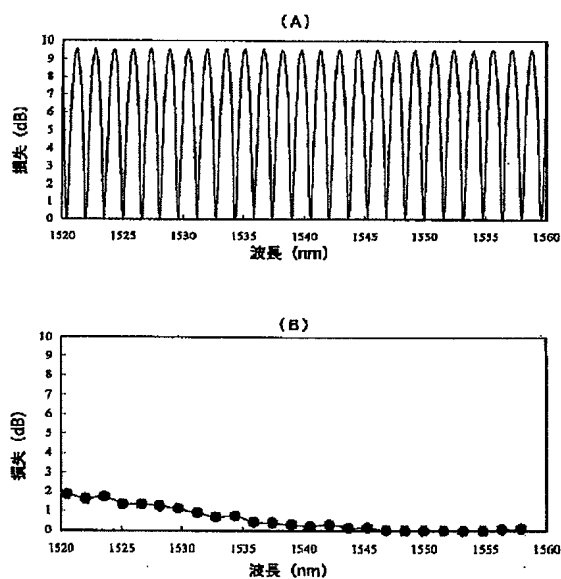
【図19】

図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その3)



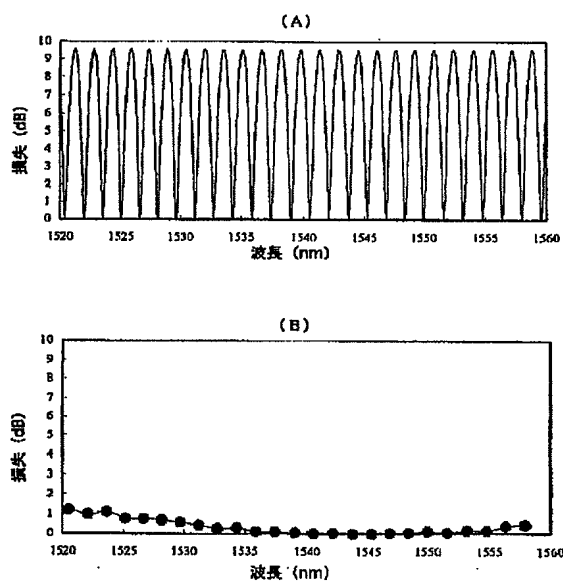
【図20】

図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その4)



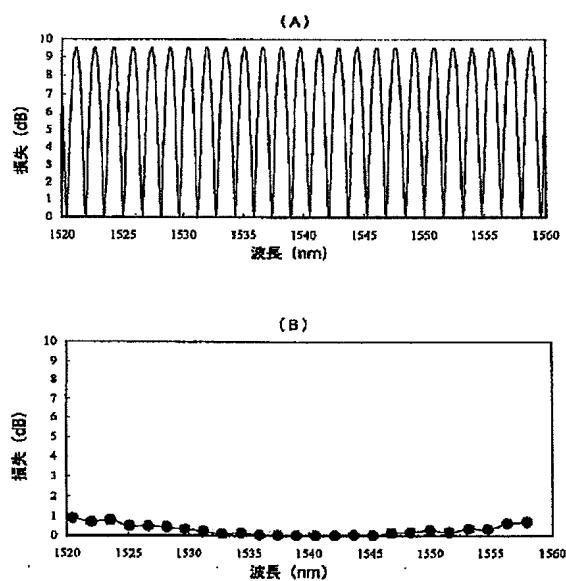
【図21】

図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その5)



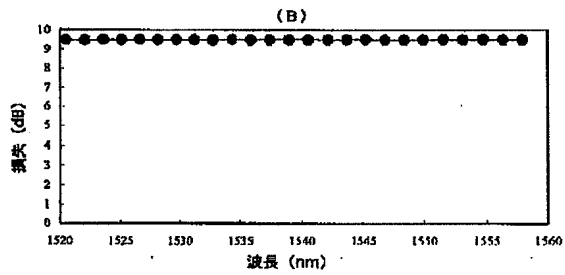
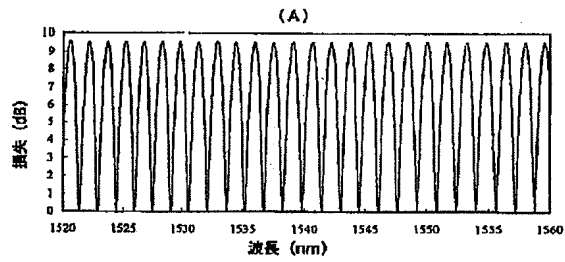
【図22】

図15の特性を得るための計算例を示す図  
(その6)



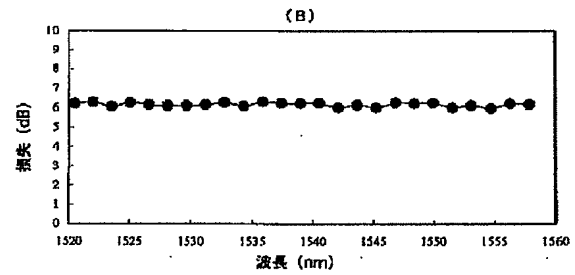
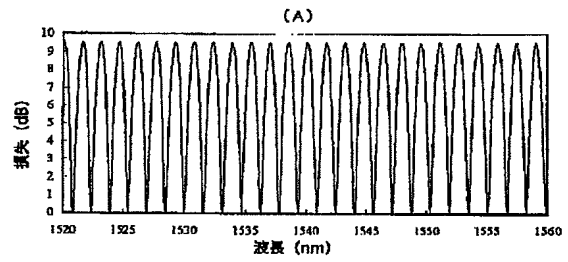
【図23】

図16の特性を得るための計算例を示す図  
(その1)



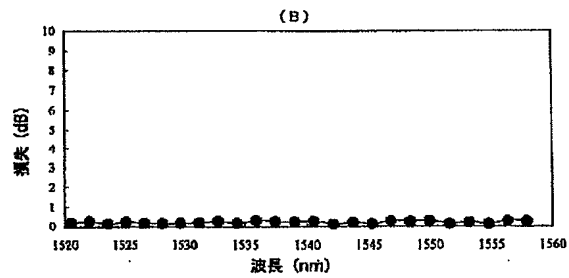
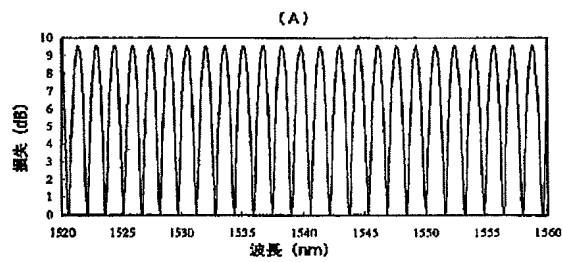
【図24】

図16の特性を得るための計算例を示す図  
(その2)



【図25】

図16の特性を得るための計算例を示す図  
(その3)





フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>H 0 4 B 10/06  
10/04

識別記号

F I

キーワード(参考)